

# Échange avec CMI

## Été 2003

Xavier RIVAL

October 15, 2003

### 1 Introduction

J'ai effectué un séjour en Inde essentiellement dédié à l'enseignement à la fin de ma quatrième année d'études à l'ENS, dans le cadre de l'échange ENS-CMI. J'avais alors accompli une année de thèse au sein de l'équipe Sémantique et Interprétation Abstraite du Département Informatique de l'ENS. La quasi totalité de mes enseignements et exposés pendant mon séjour ont concerné mon sujet actuel de recherche.

Etaient présent en Inde en même temps que moi Nicolae Mihalache-Ciurdea et Ramona Anton.

**Remerciements :** Avant toute chose, je tiens à remercier le département informatique et Patrick Cousot pour le financement du voyage ainsi que les étudiants qui ont participé à l'échange au cours des années précédentes pour leurs conseils et en particulier Stéphane Fischler qui organise l'échange et Yashonidhi Pandey.

### 2 Séjour à Chennai

J'ai passé plus de cinq semaines à Chennai (entre le 6 août 2003 et le 14 septembre 2003). J'étais accueilli par le CMI (Chennai Mathematical Institute) et logé à la guest house de l'IMSC (Institute of Mathematical Sciences of Chennai). Le but principal de ce séjour était de donner un enseignement au CMI.

**Enseignement:** Avant mon départ, je suis entré en contact avec deux enseignants du département informatique de CMI (Madhavan et Kumar) et j'ai pu rencontrer l'un d'eux (Madhavan) quelques mois avant le départ (il était venu en visite dans un laboratoire parisien). Nous avons décidé que j'allais donner un cours de niveau DEA ou thèse (graduate / doctoral course) sur l'analyse statique par interprétation abstraite. J'ai proposé un plan détaillé du cours (que j'ai très peu modifié ensuite) et qu'ils ont accepté. A priori, mes élèves devaient essentiellement être des thésards ou des étudiants en master à CMI/IMSC (c'est à dire du niveau maîtrise ou DEA).

Voici le plan des séances que j'ai assurées :

1. Overview : applications des méthodes fondées sur une abstraction (approximation) de la sémantique des programmes ; exemples
2. Abstraction : relations d'ordre en sémantique ; exemples classiques de sémantiques ; définition de la notion d'approximation d'une sémantique ; exemples ; différentes formalisations de la notion d'abstraction et liens entre ces formalisations
3. Points fixes et calculs de sémantiques abstraites : notions de base sur les points fixes ; écriture de sémantiques sous forme de points fixes ; calcul de la sémantique abstraite à partir de la sémantique concrète et d'une abstraction ; problèmes de convergence et opérateurs d'élargissements ; convergence et correction en présence d'opérateurs d'élargissement
4. Domaines abstraits : comparaison d'abstractions et hiérarchies d'abstractions ; opérateur de réduction des domaines abstraits ; combinaison de domaines (reduced product et reduced cardinal power)
5. Un interpréteur abstrait : syntaxe et sémantique d'un langage de programmation simple (sous ensemble du langage C) ; interprétation abstraite de la sémantique standard ; exemple de l'analyse des constantes
6. Domaines abstraits : présentation des principaux domaines numériques relationnels et non relationnels ; abstractions relationnelles en présence de booléens
7. Stratégies d'itérations pour le calcul de post-points fixes et raffinement de l'abstraction présentée en 5, visant à mieux prendre en compte des propriétés liées à la structure de contrôle (historique des calculs au cours de l'exécution du programme)
8. Méthodes symboliques en analyse statique : fonctions de transfert symboliques et amélioration de la précision des analyses statiques ; exemples ; domaines symboliques
9. Analyses de pointeurs : problèmes en présence d'alias et de pointeurs ; modèles de la mémoire ; exemples d'analyses

J'effectuais généralement 2 ou 3 séances chaque semaine (le cours avait lieu à CMI ou à l'IMSC). Au cours de mon séjour, je me suis efforcé de préparer un support pour le cours. J'ai préparé des transparents qui ont ensuite pu servir de polycopié de référence aux gens qui suivaient le cours. Cela a demandé un travail considérable (plus important que ce que je prévoyais : il a été difficile de finir tous les cours dans les temps). J'avais préparé les deux premières leçons avant le départ (je voulais pouvoir facilement décider de la suite au vu des premières séances) et il me semble que cela était à peine suffisant (l'idéal est d'avoir au moins la moitié du cours prêt, quitte à faire des modifications).

Finalement les élèves undergraduate de CMI ne sont pas venus à mon cours (je ne suis pas sûr qu'il leur ait été annoncé) ; les élèves de master n'ont pas été très intéressés et la plupart des gens qui assistaient à mon cours étaient

soit chercheurs soit thésards à CMI ou à l'IMSC (qui travaillaient dans des disciplines proches de l'analyse statique mais qui n'avaient pas de connaissances dans le domaine de l'interprétation abstraite). En moyenne 5 ou 6 personnes assistaient à chaque séance. Souvent le cours débouchait sur des conversations très intéressantes avec les chercheurs de l'IMSC et de CMI.

**Organisation du séjour:** Les détails liés à l'organisation du séjour ont été résolus par le secrétaire de CMI, M. Sripathy qui a été particulièrement efficace. Au cours de mon séjour à Chennai, j'étais logé à la guest house de l'IMSC (à Tharamani, à une dizaine de kilomètres au sud de CMI). Je disposais d'un appartement relativement spacieux (4 pièces). Un service de restauration est disponible sur place (le coût des services sur le site de la guest-house est relativement modique).

Je disposais également d'un compte informatique à l'IMSC (en face de la guest house).

Les déplacements à CMI étaient souvent facilités par une voiture affrétée par CMI, qui assure le transport de professeurs, chercheurs... Ses horaires n'étaient pas particulièrement fiables (un retard m'a fait rater un cours).

De plus, j'ai reçu 10 000 roupies de CMI (200 euros), pour financer mes frais sur place. Selon le mode de vie que l'on choisit sur place, cela peut se révéler suffisant ou non.

### 3 Séjour à Pondichéry

**Préparation du séjour :** Lorsque je suis arrivé à Pondichéry, ma visite à l'université n'avait quasiment pas pu être organisée (il est utile de prendre les contacts mails suffisamment longtemps à l'avance). Par conséquent, cela s'est fait sur place et au dernier moment. Toutefois, tout s'est très bien passé et j'ai bénéficié d'un accueil particulièrement chaleureux, autant au Département Mathématiques qu'au Département Informatique.

**Cours au Département Mathématiques :** Le professeur Ramaswamy a souhaité que je donne un cours au Département Mathématiques afin de montrer aux élèves des axes de recherches possibles. Ayant effectué l'ensemble de mon cursus en informatique depuis la première année d'école, je me suis efforcé de présenter un cours sur un thème proche à la fois des mathématiques et de l'informatique : la logique. J'ai essayé d'introduire le lambda calcul simplement typé et de montrer la correspondance de Curry Howard (équivalence entre formules logiques et types ; entre programmes et preuve) [3], ce qui s'est avéré être un peu trop long pour une séance de une heure. A la fin de la séance, j'ai montré aux élèves quelques applications simples de cette théorie et en particulier le lien entre programme et preuve, afin de rendre l'exposé plus concret.

Les élèves (une quinzaine) étaient pour la plupart de niveau graduate. Leurs débouchés principaux sont l'enseignement ou l'administration. Chaque année quelques uns s'orientent vers la recherche.

**Séminaire au Département Informatique :** A la suite de ma présentation au Département Mathématiques, j’ai donné un exposé sur le thème de l’analyse statique au Département Informatique. Dans une première partie, j’ai introduit les notions fondamentales (sémantique, interprétation abstraite) utiles pour la suite de l’exposé (sémantique, abstraction, transfert de point fixe, approximation de points fixes). Dans la seconde partie, j’ai présenté les résultats d’un projet d’analyse statique [1] mené au sein de l’équipe Sémantique et Interprétation Abstraite au Département Informatique de l’ENS (où j’effectue ma thèse). J’ai été impressionné par le nombre de gens qui ont assisté à mon exposé (entre 60 et 80).

Les thèmes de recherche présents au Département Informatique de l’université de Pondichéry (et les enseignements) sont relativement pratiques (il s’agit essentiellement de “computer engineering”). Par conséquent ni les professeurs ni les élèves n’étaient familiers avec les notions évoquées. Malgré cela ils ont été très intéressés et l’exposé a débouché sur une discussion intéressante.

**Organisation du séjour :** Je suis resté plusieurs jours à Pondichéry (il s’agissait de faire une coupure avec Chennai, et de passer quelques jours à préparer mes cours). La partie est de la ville (au bord de la mer) est très agréable (en particulier, on y trouve de nombreux restaurants indiens et occidentaux de qualité). Pendant mon séjour, j’ai obtenu une chambre à la guest-house de l’ashram Sri Aurobindo (autour de 300 roupies par nuit pour une très grande chambre avec vue sur la mer dans un cadre très calme). Le trajet depuis Chennai s’effectue en bus pour quelques dizaines de roupies et dure deux heures.

J’ai été particulièrement gêné de recevoir une rémunération pour mon enseignement au département mathématiques (250 roupies). Le département informatique m’a offert plusieurs cadeaux dont un magnifique tee-shirt de l’université.

## 4 Séjour à New Delhi

Lors d’un week-end passé à New Delhi, j’ai présenté un séminaire à l’IIT Delhi (Indian Institute of Technology). Les IIT sont des universités qui correspondent à des écoles d’ingénieur françaises. Le niveau de recrutement dans les IIT est particulièrement élevé. La taille de ces instituts est également assez impressionnante : l’IIT Delhi recrute plus de 2500 élèves chaque année. Les élèves ne se destinent généralement pas à la recherche ; seule une petite fraction d’entre eux poursuit pour préparer une thèse.

**Organisation :** Quelques semaines avant mon passage j’ai prévenu les professeurs Arun Kumar et Sanjiva Prasad, dont les sujets de recherche principaux sont liés à la sémantique et à la vérification. Ils m’ont proposé de faire un séminaire de 1h à 1h30 le lundi après midi.

Ne disposant pas de beaucoup de temps pour mon déplacement à New Delhi (je voulais aussi garder un peu de temps pour visiter), j’ai fait le voyage en avion, ce qui m’a coûté autour de 350 euros. Il s’agissait du meilleur prix que j’avais

pu trouver, sur la compagnie Jet Airways (dont les prestations sont d'excellente qualité et les appareils quasiment neufs).

Sur place, j'ai été très bien accueilli et j'ai passé quasiment l'après midi à discuter avec les chercheurs du Département Informatique de l'IIT.

**Séminaire :** J'ai présenté un exposé en trois parties, dont le but était à la fois de présenter les résultats d'un projet mené au sein de l'équipe SIA du DI de l'ENS et de développer une partie de mon travail de thèse plus en détail. Le plan que j'ai choisi était :

1. introduction à l'interprétation abstraite ; principe de l'analyse statique par interprétation abstraite [2]
2. implémentation d'un analyseur détectant un sur ensemble des erreurs d'exécutions dans des programmes embarqués [1] (analyse d'un sous ensemble du langage C)
3. certification de code assembleur par traduction d'invariants obtenus lors de l'analyse du programme C source [4]

L'assistance était constituée d'une vingtaine de chercheurs et d'élèves de l'IIT.

## 5 Séjour à Mumbai

J'ai passé une semaine au Tata Institute of Fundamental Research (TIFR) à Mumbai, du 14 au 21 septembre 2003. Le TIFR est essentiellement un centre de recherche, consacré aux mathématiques, à l'informatique et à la physique : il n'y a pas d'enseignements undergraduate sur place. L'institut accueille des doctorants, qui suivent des cours doctoraux sur place, donnés en relativement grande partie par des intervenants extérieurs. En informatique, le TIFR accueille entre 5 et 10 doctorants chaque année, souvent recrutés dans les meilleures universités indiennes (dont les IITs). J'ai été accueilli par le département informatique, qui m'a fourni un bureau avec possibilité de brancher mon ordinateur portable. Le secrétaire du département, M. John Baretto a été particulièrement efficace pour gérer tous les problèmes pratiques (logement, transports depuis et vers l'aéroport...). L'accueil des chercheurs a été également très chaleureux.

**Enseignement:** Les professeurs Shyamasundar, Pandya et Natarajan m'ont demandé de présenter quelques cours sur les fondements de l'interprétation abstraite aux thésards du TIFR. Ayant déjà effectué un cours sur un domaine proche lors de mon séjour à Chennai, j'ai pu récupérer une partie de mes préparations et ainsi donner un cours même si mon séjour ne durait qu'une semaine. Afin de boucler le programme que je m'étais fixé, j'ai dû parfois exposer plus succinctement certaines notions.

J'ai effectué quatre séances de 1h à 2h :

1. Sémantique et abstraction : quelques sémantiques simples ainsi que la définition des relations d'abstractions

2. Points-fixes et calcul de sémantique abstraite : présentation de sémantiques sous forme de points-fixes, transfert de points-fixes et écriture de sémantique abstraite sous forme de points fixes, problèmes de convergence et opérateurs d'élargissement
3. Un interpréteur abstrait pour un langage simple : sémantiques concrètes et abstraites pour un langage impératif simple ; définition des primitives abstraites pour concevoir un interpréteur abstrait ; exemple de domaine abstrait
4. Domaines abstraits : théorie ; présentation d'exemples de domaines numériques non relationnels ou relationnels

Une dizaine d'étudiants a assisté à mon cours ainsi que quelques professeurs. Les étudiants étaient pour la plupart d'entre eux en début de thèse (ils effectuent l'équivalent d'un DEA au cours de leur première année de thèse). Le programme d'enseignement pour la première année de thèse me semble nettement plus varié que celui d'un DEA d'informatique en France : les étudiants de première année suivaient apparemment quatre cours dont les sujets étaient la théorie des réseaux, l'algorithmique et la complexité, la logique. Par conséquent, les élèves n'approfondissent pas vraiment un sujet particulier en cours, ce qui a pu poser problème au début de mon cours car les étudiants n'avaient pas les connaissances de base (en particulier ils n'avaient pas eu de cours de sémantique et j'ai choisi de rappeler quelques concepts fondamentaux au début de la première séance).

Certains étudiants avaient déjà quasiment choisi un sujet pour la suite de leur thèse et m'ont demandé des références bibliographiques ou m'ont expliqué leur projet de thèse.

**Séminaire:** J'ai également présenté un séminaire (séance de 1h30), sur un des projets menés au sein de mon laboratoire et sur mon travail de thèse (le contenu était similaire à celui de la présentation que j'ai effectuée à l'IIT Delhi). De plus, j'ai eu l'occasion d'évoquer en fin d'exposé certains de mes travaux récents : les chercheurs du TIFR avaient beaucoup travaillé sur la "translation validation" ou preuve symbolique d'équivalence entre programmes, qui est l'un de mes axes de recherches. Certains d'entre eux connaissaient très bien également le thème de l'analyse statique (un autre aspect de ma thèse). Le cours que j'ai donné (3 séances sur 4 avaient eu lieu avant le séminaire) a constitué une excellente introduction aux notions que j'ai présenté ici et les étudiants ont pu suivre le séminaire sans problème.

**Conditions sur place:** Le secrétaire du département informatique m'a fait réserver une chambre à la guest house du TIFR. La chambre était correctement aménagée bien que de taille modeste. Un service de restauration (petit déjeuner, déjeuner, thé et dîner) est également disponible sur place.

J'ai reçu 3000 roupies (60 euros) pour mes cours et pour couvrir mes frais sur place. A titre de comparaison, la location de la chambre pendant la semaine a coûté moins de 500 roupies.

La situation du TIFR est relativement privilégiée, à une distance raisonnable du centre ville mais dans un cadre sympathique, en bordure de mer. Les conditions de travail sont également très bonnes. Le seul inconvénient de la zone dans laquelle se trouve le TIFR est qu'il s'agit d'une zone militaire (déplacements limités, photographie interdite, peu de commerces sur place).

Etant en mauvaise santé pendant la semaine que j'ai passée à Mumbai, je n'ai pas pu profiter pleinement de ce séjour et je le regrette profondément. Je pense qu'il est peut être extrêmement intéressant de prévoir un séjour plus long au TIFR car il s'agit d'un endroit vraiment formidable pour la recherche (programme de séminaires de qualité, nombreux chercheurs, ambiance très favorable).

## 6 Conclusion

Finalement, l'expérience que représente l'enseignement d'un cours de niveau avancé me semble très bénéfique. Avant de donner ces cours j'avais eu l'occasion d'assurer des séances de travaux dirigés ; la préparation d'un cours complet est clairement une expérience nettement plus riche du point de vue pédagogique. Au niveau scientifique, j'ai beaucoup apprécié les échanges que j'ai pu avoir avec les chercheurs (à CMI et au TIFR), thésards et élèves (surtout au TIFR).

La préparation du cours requiert beaucoup de temps ; il me semble qu'il est très préférable de s'y prendre longtemps à l'avance, surtout si le cours n'est pas intégré dans le programme officiel de CMI (dans ce cas, également contacter directement toutes les personnes intéressées et leur soumettre un programme précis).

Par ailleurs, ce séjour m'a permis d'approcher une culture fascinante, ce qui n'est pas négligeable.

## References

- [1] B. Blanchet, P. Cousot, R. Cousot, J. Feret, L. Mauborgne, A. Miné, D. Monniaux, and X. Rival. A Static Analyzer for Large Safety Critical Software. In *Proc. of the Conference on Programming Languages, Design and Implementation (PLDI'03)*, San Diego (USA), 2003.
- [2] P. Cousot and R. Cousot. Abstract Interpretation: a unified lattice model for static analysis of programs by construction or approximation of fixpoints. In *Proc of the 4th Symposium on Principles of Programming Languages*, Los Angeles (California, USA), 1977.
- [3] J.-Y. Girard. *Proofs and types*, volume 7 of *Cambridge tracts in theoretical computer science*. Cambridge University Press, 1989.
- [4] X. Rival. Abstract Interpretation-based Certification of Assembly Code. In *Proc. of the 4th International Conference on Verification, Model Checking and Abstract Interpretation (VMCAI'03)*, New York (USA), 2003.